

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Физико-технический
 Направление подготовки Ядерные физика и технологии
 Кафедра Физико-энергетических установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оценка радиационной стойкости фторопласта - 4 МБК по физико-механическим характеристикам

УДК 621.039

УДК 620.172

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Клюкин Никита Михайлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Беденко С.В.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.ЭКОН.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиозоологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Физико-технический

Направление подготовки: (специальность): 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра: Физико-энергетических установок

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. Кафедрой

_____ Долматов О.Ю.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Г	Клюкин Никита Михайлович

Тема работы:

Оценка радиационной стойкости фторопласта - 4 МБК по физико-механическим характеристикам	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1618/с от 26.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2016
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> – Образцы материала фторопласт 4МБК облученные до различных доз; – оборудование для испытания физико-механических характеристик на базе предприятия ОКБ КП и оборудование для испытаний диэлектрических характеристик материала.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>введение: цель работы, область применения и значимость рассматриваемой проблемы;</p> <p>основная часть: исследование материала фторопласт 4-МБК по физико-механическим и диэлектрическим характеристикам, после облучения гамма установкой, для определения изменений в структуре материала под воздействием ионизирующего излучения. описание технической базы экспериментальной работы, подготовка и проведение испытаний, определение отклонения относительных погрешностей измерений, анализ полученных результатов, расчёт себестоимости проведения исследовательской работы, разработка производственной безопасности при проведении экспериментов (в соответствии со стандартами и инструкциями по технике безопасности).</p>
Перечень графического материала	Чертеж «лопатки» для физико-механических испытаний
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Иностранный язык	Демьяненко Н.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ФЭУ ФТИ	Беденко С.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Клюкин Никита Михайлович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Г	Клюкин Никита Михайлович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Иерархическая структура работ</i>
4. <i>Календарный план проекта</i>
5. <i>Бюджет проекта</i>
6. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Клюкин Никита Михайлович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ4Г	Клюкин Никита Михайлович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – вредных факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	электробезопасность, пожаробезопасность, требования при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм; – предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф. -м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4Г	Клюкин Никита Михайлович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа магистра содержит 130 с., 22 рис., 43 табл., 27 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: фторопласт 4-МБ К, облучение образцов, гамма-установка, физико-механические испытания.

Объектом исследования – является материал фторопласт 4-МБ К и испытание его по физико-механическим характеристикам после облучения.

Цель работы – оценка радиационной стойкости материала фторопласт 4-МБ К по физико-механическим и диэлектрическим характеристикам.

В процессе исследования проводилось исследование изменений в структуре материала после облучения на гамма-установке.

В результате исследования были получены зависимости физико-механических характеристик и определены возможности применения данного материала в той или иной зоне ионизирующего излучения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: фторопласты отличаются коррозионной, химической и радиационной стойкостью благодаря наличию в структуре большого количества атомов фтора. Также они атмосферостойки, теплостойки и морозостойки.

Область применения: кабельная промышленность, атомная промышленность, оборонная промышленность, космос.

Экономическая эффективность/значимость работы: фторопласт 4-МБ К является отечественной разработкой и по своим свойствам и радиационной стойкости может конкурировать со многими иностранными разработками цена которых в разы выше данного материала.

В будущем планируется разработать рекомендации по местам прокладки кабельных сборок в ядерных реакторах, в зависимости от поля излучения.

Список сокращений

ГУ-200 – гамма установка

ДСМ – дифференциальный сканирующий микрокалориметр

ИИ – ионизирующее излучение

ИЯ – измерительная ячейка

НИР – научно-исследовательская работа

ЯР – ядерный реактор

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка

Оглавление

Список сокращений	9
Введение.....	13
1.1 Свойства фторопластов	15
1.2 Влияние ионизирующих излучений на физико-механические характеристики материала	17
1.3 Измерение ионизирующих излучений.....	19
1.4 Важные показатели взаимодействия ИИ с веществом:	20
1.5 Влияние ИИ на вещество	21
1.6 Кабели и материалы в ядерных энергетических установках	22
1.7 Действие излучений на органические электроизоляционные материалы .	26
Глава 2. Основная часть	27
2.1 Исследуемый материал; Измерительная аппаратура и испытательное оборудование	27
2.1.1 Изготовление пластин из фторопласта-4 МБ К	27
2.1.2 Облучение пластин	27
2.2 Испытание на разрыв при растяжении	29
2.2.1 Изготовление и подготовка образцов для испытаний на растяжение при разрыве	29
2.2.2 Измерительная аппаратура и испытательное оборудование.....	30
2.3 Нахождение тангенса диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости	31
2.3.1 Изготовление и подготовка образцов для определения тангенса угла диэлектрических потерь	31
2.3.2 Измерительная аппаратура и испытательное оборудование.....	32
2.4 Испытание образцов на дифференциальном сканирующем микрокалориметре	37
2.4.1 Изготовление и подготовка образцов для дифференциальной сканирующей калориметрии.....	37
2.4.2 Измерительная аппаратура и испытательное оборудование.....	37
2.5 Методика обработки данных и погрешности	39

2.5.1 Испытание на разрыв при растяжении	39
2.5.2 Сущность метода.....	40
2.5.3 Выполнение измерений	40
2.5.4 Контроль точности результатов измерений	42
2.6 Нахождение тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости	43
2.6.1 Сущность метода.....	44
2.6.2 Выполнение измерений	44
2.7 Контактный метод измерения $\tan \delta$ с сохранением межэлектродной ёмкости ячейки	45
2.7.1 Сущность метода.....	45
2.7.2 Выполнение измерений	46
2.7.3 Контроль точности результатов измерений	47
2.8 Дифференциальная сканирующая калориметрия.....	48
2.8.1 Сущность метода.....	48
2.8.2 Выполнение измерений	48
2.8.3 Контроль точности результатов измерений	50
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	51
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	51
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	52
4.1.2 SWOT-анализ.....	54
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом	57
4.2.1 Иерархическая структура работ проекта	57
4.2.2 Контрольные события проекта	57
4.2.3 План проекта.....	58
4.3 Бюджет научного исследования.....	61
4.3.1 Расчёт материальных затрат	61
4.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	62
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	63
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	65

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	66
4.3.6 Накладные расходы	66
4.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	67
4.4 Организационная структура проекта	67
4.5 Матрица ответственности	68
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	70
Список публикаций студента.....	73

Введение

Полимерные материалы широко применяются в различных отраслях техники, в том числе атомной и космической, где на них действуют ионизирующие излучения высокой энергии. Поэтому изучение влияния этого специфического вида внешнего воздействия на разнообразные свойства полимеров представляют определённый научный и практический интерес.

Многие исследования показали, что различные характеристики материала по-разному реагируют на воздействие ионизирующих излучений.

К числу основных элементов, обеспечивающих надёжность и безопасность эксплуатации ядерных энергетических установок, относятся кабельные изделия, в первую очередь провода и кабели, входящие в систему управления и защиты ядерного реактора, а также кабели, питающие электроэнергией основные технические агрегаты. Все электрические цепи, находящиеся в «чистой» зоне, то есть находящиеся вдали от реактора за радиационной защитой, обычно выполняют из проводов и кабелей общего назначения. Однако в «грязной» зоне, то есть в непосредственной близости к реактору и элементам первого контура, а тем более внутри радиационной защиты реактора и в его активной зоне, применение таких кабельных изделий невозможно. В результате возникает необходимость разрабатывать специальные кабельные изделия с использованием радиационно-стойких материалов, которые в свою очередь обеспечат возможность длительной эксплуатации в весьма сложных специфичных условиях.

Цель данной работы: оценка радиационной стойкости материала фторопласт 4-МБ К по физико-механическим и диэлектрическим характеристикам при облучении данного материала до следующих доз:

- $3 \cdot 10^5$ Рад = $3 \cdot 10^3$ Гр;
- 10^6 Рад = 10^4 Гр;
- $3 \cdot 10^6$ Рад = $3 \cdot 10^4$ Гр;
- 10^7 Рад = 10^5 Гр;
- $3 \cdot 10^7$ Рад = $3 \cdot 10^5$ Гр;
- $5 \cdot 10^7$ Рад = $5 \cdot 10^5$ Гр.

Задачи:

- Провести литературный обзор по тематике работы
- Выполнить работы по подготовке материала и его облучения
- Проведение физико-механических и диэлектрических испытаний
- Обработка полученных результатов
- Обоснование результатов

Актуальность, научная новизна и практическая значимость:

Материал фторопласт-4 МБ серии К был разработан специально для кабельной промышленности и использовании его в качестве изоляции и оболочек теплостойких проводов и кабелей, однако его модификация фторопласт-4 МБ К практически не исследована.

В данной работе будет рассмотрено влияние ионизирующего излучения на материал фторопласт-4 МБ К, то есть, как изменятся его физико-механические и диэлектрические характеристики, после облучения гамма-излучением.

Данные исследования могут быть использованы при обосновании и выборе мест прокладки кабелей и проводов в системах и установках, образующих поля ИИ.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на VIII Международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине».

Глава 1. Обзорная часть

Фторопласты – техническое название полимеров, содержащих в макромолекуле атомы фтора. Полимерный материал, получаемый полимеризацией тетрафторэтилена, химическая формула $(-C_2F_4-)_n$ [3].

1.1 Свойства фторопластов

Фторопласты отличаются коррозионной, химической и радиационной стойкостью благодаря наличию в структуре большого количества атомов фтора. Также они атомосферостойки, теплостойки и морозостойки.

Фторопласты:

- негорючи (самозатухают при возгорании);
- не растворяются или плохо растворяются в большинстве органических растворителях;
- низкая газопроницаемость;
- низкий коэффициент трения;
- низкое водопоглощение;
- отличные диэлектрические характеристики;
- высокую электрическую прочность.

Фторопласт-4 (политетрафторэтилен) химически нейтрален. Он стоек ко всем агрессивным средам. Не разлагается под действием, щелочей, растворителей, кислот, окислителей, нефтепродуктов. Рабочий диапазон в интервале температур от минус 269 °С до плюс 260 °С, за это фторопласту - 4 дали название «пластиковая платина». На него может оказать воздействие только элементарный фтор, при высоких температурах; расплавы щелочных металлов; трехфтористый хлор.

Фторопласт-4 МБ – один из главных представителей большой группы плавких фторопластов, является полимером тетрафторэтилена и гексафторпропилена. Он обладает почти всеми ценными свойствами политетрафторэтилена, но имеющий важное преимущество: способность перерабатываться обычными для термопластов методами. Обладает

способностью свариваться. По химической стойкости практически не отличается от фторопласта-4. Обладая несколько меньшей термостойкостью (рабочий интервал температур от минус 196 °С до плюс 200 °С) этот материал более технологичен в переработке.

Фторопласт-4 МБ выпускается в виде гранул размером 2–4 мм или порошка.

Диэлектрические свойства фторопласта-4МБ близки свойствам фторопласта-4, с несколько большим тангенсом угла диэлектрических потерь при высоких частотах. Разновидность фторопласта-4 МБ фторопласт-4 МБ К, модифицированный для применения в кабельной технике.

Таблица 1 – Характеристики Фторопласта - 4 МБ К

Наименование показателя	Норма
Внешний вид	Гранулы белого цвета цилиндрической формы размером в любом направлении 2-4 мм. Цвет гранул в пределах одной партии должен быть однородным.
Прочность при разрыве, МПа (кгс/см ²), не менее	19 МПа
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	320 %
Плотность, г/см ³	2,16 г/см ³
Температура плавления, °С	270-290 °С
Температура разложения, °С	380-400 °С

Фторопласт – 4 МБ К в условиях эксплуатации невзрывоопасен, не горюч, при непосредственном контакте не оказывает влияния на организм человека при комнатной температуре. При нагревании Фторопласта - 4МБ К свыше 200 °С

могут выделяться летучие продукты термоокислительной деструкции, содержащие в своем составе: окись углерода, фтористый водород [1].

1.2 Влияние ионизирующих излучений на физико-механические характеристики материала

Ионизирующее излучение (ИИ) - потоки фотонов, элементарных частиц или осколков деления атомов, способные ионизировать вещество.

К ионизирующему излучению не относится видимый свет и ультрафиолетовое излучение, хотя они в отдельных случаях могут ионизировать вещество.

Можно выделить следующие излучения:

– **Коротковолновое электромагнитное излучение (поток фотонов высоких энергий):**

- Гамма – излучение;
- Рентгеновское излучение

– **Потоки частиц:**

- бета-частиц (электронов и позитронов)
- нейтронов
- протонов
- Ионов (осколков деления, альфа–частиц)

Также источники ИИ можно разделить на группы:

– **Природные источники ИИ:**

- Космические лучи
- Термоядерные реакции (например, на солнце)
- Спонтанный радиоактивный распад радионуклидов

– **Искусственные источники:**

- Ядерные реакторы
- Ускорители элементарных частиц (генерируют потоки заряженных частиц, а также тормозное фотонное излучение)
- Искусственные радионуклиды

– Рентгеновский аппарат, как разновидность ускорителя, генерирует тормозное рентгеновское излучение.

Наиболее распространены по видам ИИ радиоактивные излучения, которые образуются в результате радиоактивного распада атомных ядер. Радиоактивные элементы обладают способностью радиоактивного распада.

Радиоактивные элементы:

- Естественные (уран, торий, радий и др., всего около 50)
- Искусственные (насчитывается около 700 элементов)

Принято разделять три вида излучения при радиоактивном распаде: альфа, бета и гамма - излучения.

– Альфа-частица – это дважды ионизированное ядро гелия, которое представляет собой очень стабильную и плотно связанную ядерную структуру. При распаде ядра с испусканием альфа-частицы, появляющееся в результате ядро называется дочерним, оно имеет заряд на две единицы меньше и атомную массу на четыре единицы меньше исходного материнского ядра. В общем виде эта реакция может быть представлена следующим образом:



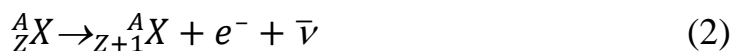
Из 160 известных альфа-излучателей большинство являются тяжелыми ядрами с атомными номерами более 82. Энергия испускаемой альфа-частицы может лежать в диапазоне от 4 до 10 МэВ и период полураспада - от 10^{-6} с до 10¹⁰ лет. Альфа-частицы высокой энергии испускаются при распаде короткоживущих ядер. Поскольку альфа частицы очень тяжелые, то при контакте с веществом, частицы сталкиваясь с молекулами этого вещества, начинают с ними взаимодействовать, теряя свою энергию и поэтому проникающая способность, данных частиц не велика и их способен задержать даже простой лист бумаги.

– Бета-излучение – поток электронов, образующихся в процессе распада ядер радиоактивных элементов.

В процессе бета-распада атомный номер Z увеличивается или уменьшается на одну единицу, а массовое число атома A остается постоянным.

В результате распада изменяется состояние нейтронов и протонов. Существует три типа бета-распада: β^- , β^+ и электронный захват.

В процессе бета-распада ядра элементов меняют состояния по следующей схеме:



Бета-излучение обладает проникающей способностью выше, чем у альфа-излучения, поэтому для защиты от излучения требуются плотные экраны. Во фторопласте-4 длина пробега бета-электронов составляет около 2мм.

– Гамма-излучение представляет собой высокоэнергетическое электромагнитное излучение, испускаемое при переходе ядра атома из возбужденного состояния в стабильное или менее возбужденное. Гамма-излучение обладает очень высокой проникающей способностью, и для защиты нужно использовать материалы, хорошо задерживающее это излучение (вода, свинец, бетон). Коэффициент ослабления гамма-излучения в свинце, при энергии гамма-квантов равной 1,2 МэВ, численно равен примерно 0,6.

Виды ИИ отличаются друг от друга величиной массы, энергии и зарядом. Также в каждом виде ионизирующего излучения есть отличия в плане величины ионизирующей и проникающей способности. Интенсивность видов радиоактивного облучения, обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника излучения, это значит, что при увеличении расстояния втрое интенсивность облучения уменьшается в 9 раз [4,5].

1.3 Измерение ионизирующих излучений

Первыми датчиками ионизирующего излучения в истории были датчики с использованием химических, светочувствительных материалов, которые использовались в фотографии. Однако от них отказались, из-за затрат на сложный процесс и очень низкой информативности.

Широкое же применение, получили дозиметры на основе счетчиков Гейгера. Это газоразрядный прибор, в котором ионизируется газ и преобразуется в электрический ток между электродами. В основном данные датчики корректно

регистрируют только гамма-излучение. В некоторых приборах использованы специальные фильтры, которые за счет тормозного излучения преобразуют бета-излучение в гамма-кванты.

В науке широко используются сцинтилляторы. В этих приборах используются вещества, которые при поглощении ИИ, способны излучать свет. Свет собирается на светоприемнике, преобразуется в импульс тока и далее записывается той или иной регистрирующей системой. Сцинтилляторы очень хорошо разделяют излучение по энергиям.

Взаимодействие ИИ с веществом зависит от типа излучения, энергии частиц и сечения взаимодействия облучаемого вещества.

1.4 Важные показатели взаимодействия ИИ с веществом:

- Линейная передача энергии, показывающая, какую энергию излучение передает в среднем на единицу пробега при единичной плотности вещества

- Поглощенная доза излучения, показывающая, какая энергия излучения поглощается в единице массы вещества.

В международной системе СИ единицей поглощенной дозы является Грэй, численно равный поглощенной энергии в 1 Дж на 1 кг массы вещества. Также используется внесистемная единица рад, доза соответствующая поглощенной энергии 100 эрг на 1 грамм вещества. $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$.

Экспозиционная доза излучения - величина, которая показывает, какой заряд создает фотонное (гамма -, или рентгеновское) излучение в единице объема воздуха. Для этих целей используют внесистемную единицу экспозиционной дозы Рентген - это доза фотонного излучения, образующего ионы с зарядом $1/3 \cdot 10^{-9}$ Кулон в 1 см^3 воздуха. $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$. $1 \text{ Р} = 2,579 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ [6].

1.5 Влияние ИИ на вещество

Результаты воздействия ионизирующих излучений на высокомолекулярные соединения находятся в прямой зависимости от характера химических связей в молекулах этих веществ. Для полимеров характерно наличие большего числа связей, разрыв которых под действием ионизирующих излучений при достаточно длительном облучении значительно преобразует вещество с изменением его свойств.

Изменение свойств полимеров при воздействии на них ИИ обусловлены следующими основными радиационно-химическими процессами:

- укрупнением макромолекул из-за возникновения поперечных химических связей между линейными макромолекулами, с образованием сетки – так называемое поперечное «сшивание»;
- распадом, деструкцией макромолекул, с образованием летучих продуктов и макромолекул меньшей длины, вплоть до превращения полимеров в вязкие жидкости;
- изменением числа и характера двойных связей;
- окислением при наличии доступа кислорода;
- другими реакциями, инициируемыми излучением при соответствующих условиях.

У многих полимеров наблюдается одновременное протекание всех перечисленных выше процессов. Исследования показали, что полимеры, содержащие хотя бы один атом водорода на каждый атом углерода главной цепи, под действием излучения преимущественно «сшиваются»; полимеры же, содержащие в главной цепи атомы углерода, не связанные с атомами водорода, в основном деструктируются.

Сшиванием называется - процесс образования связи между двумя полимерными молекулами с появлением тетрафункциональных звеньев. К сшивающимся полимерам относятся: полиэтилен, полипропилен, полистирол, лавсан, поливинилхлорид, кремнийорганические соединения (силиконы), натуральный каучук, синтетические каучуки, фенольно-формальдегидные,

полиэфирные, эпоксидные смолы, фторопласты, содержащие в составе макромолекулы атомы водорода (например, сополимер этилена и тетрафторэтилен фторопласт-40).

Деструкцией называется - процесс разрыва связей главной цепи под влиянием облучения. Деструктурирующиеся полимеры это: полиизобутилен, бутилкаучук, политетрафторэтилен (фторопласт-4), политрифторхлорэтилен (фторопласт-3), целлюлоза и ее производные, полиметилметакрилат (органическое стекло) и др.

Действие излучений на органические материалы оказывается более значительным, если они в момент облучения находились в нагретом состоянии. Некоторые полимерные материалы могут мгновенно вспениваться в момент или после облучения.

При использовании в условиях облучения изоляции кабелей, приборов, корпусов и других изделий из фторполимеров возникают трудности, обусловленные выделением агрессивных по отношению к металлам продуктов радиолиза (серы, аммиака, серосодержащих соединений и галоидоводородных кислот). Во фторопласте-4 наиболее интенсивные выделения агрессивных продуктов радиолиза начинается с поглощенной дозы излучения 10^4 рад [8,9].

1.6 Кабели и материалы в ядерных энергетических установках

Грандиозная программа развития ядерной энергетики в мире предъявляет серьезные требования к областям техники, комплектующим ЯЭУ различным оборудованием, приборам, материалам и т.д. Это в полной мере относится и к материалам для кабельной техники.

Две функции кабелей в ЯЭУ:

– Подвод электропитания к различным агрегатам и приборам, обеспечивающим нормальный технологический режим работы реактора и всего оборудования ЯЭУ, а также входящим в системы контроля, управления и защиты реактора;

– Передачи информации от различных датчиков к системе автоматического регулирования и на пульт оператора и осуществляется передача команд на исполнительные механизмы.

Как в одном, так и во втором случае, провода и кабели находятся в зоне действия ядерных излучений.

Часто специфика применения кабелей и проводов в оборудовании ЯЭУ не ограничивается только воздействием потоков реакторных излучений, но и характеризуется сочетанием облучения и действием значительных температур. В ряде случаев к вышесказанным критериям добавляются влажность, колебания температуры в широком диапазоне, повышение внешнего давления и др.

С учетом вышесказанного становится ясно, что использование в ЯЭУ материалов кабелей и проводов общепромышленного назначения становится невозможным. В этом случае приходится разрабатывать материалы в таком конструкционном исполнении, чтобы их характеристики удовлетворяли возможности использования их в сложных специфических условиях.

Очевидно, что в процессе разработки выбор материала будет основываться не только на основе анализа электрофизических и физико-механических характеристик, но и с учетом изменения большинства их свойств при воздействии на них ядерного излучения. Иными словами, основным из определяющих факторов становится радиационная стойкость материала.

Основными факторами, характеризующим условия эксплуатации кабелей и проводов в ЯЭУ, являются потоки излучений высокой энергии, главным образом нейтронов деления и сопутствующего гамма-излучения, а также повышенные температуры. Оба эти фактора достигают максимального значения в пределах активной зоны реактора и в непосредственной близости от нее, и являются весьма умеренными за пределами радиационной защиты реактора. Тем не менее, с учетом срока службы оборудования реактора (примерно 40 лет), а также учитывая возможность аварийных ситуаций, суммарное воздействие излучений может оказаться весьма значительными.

При анализе работоспособности материалов кабельной промышленности необходимо учитывать, как нормальные режимы эксплуатации, так и аварийные ситуации.

При нормальных условиях эксплуатации

При нормальных условиях эксплуатации радиационные условия для оборудования, расположенного под защитной оболочкой ядерного реактора (т.е. внутри герметичного устройства, в котором размещено все оборудование первого контура ядерного реактора, предназначенного для локализации аварии), характеризуются наличием потомков гамма-излучения и нейтронов. Энергетический спектр гамма-излучения в этой зоне, расположенной в непосредственной близости к ЯР, простирается от нескольких Кэв до 8 МэВ. Энергетический спектр нейтронов охватывает диапазон от тепловых (в среднем примерно 0.025 эВ) до нейтронов деления (свыше 10 МэВ).

Для практически целей можно полагать, что вызываемые излучением повреждения в материалах кабельного изделия, сказывающиеся на его работоспособности, обусловлены почти полностью гамма-излучением, и поэтому наиболее важной характеристикой условий эксплуатации является мощность поглощенной дозы гамма-излучения. Она также сильно изменяется в зависимости от конкретного расположения данного оборудования в ЯР или вблизи него, но обычно составляет от 10 до 100 рад/час. При средней мощности поглощенной дозы приблизительно 50 рад/час, поглощенная доза за весь срок эксплуатации, 40 лет, достигает около $2 \cdot 10^7$ рад. Для нормальных условий эксплуатации ЯЭУ характерны температура окружающей среды 50 °С и относительная влажность около 90%.

При аварийных условиях эксплуатации:

В процессе эксплуатации ЯР могут произойти аварии различной степени тяжести, которые могут приводить к повреждению оболочек ТВЭЛов, а также к нарушению герметичности первого контура реактора.

Радиационные условия в аварийной ситуации будут определяться в главной степени гамма и бета-излучением, испускаемыми при радиоактивном

распаде продуктов деления. Мощность поглощенной дозы при этом будет изменяться во времени, но полагают, что в течении нескольких часов будет достигнута максимальное значение около 10^7 рад, а затем начнется постепенный спад на протяжении около 1 года. В течении этого времени аварийное оборудование должно функционировать, хотя поглощенная доза за этот период может достигнуть значения $5 \cdot 10^8$ рад.

При изготовлении проводов и кабелей используют в основном материалы двух типов - токопроводящие (металлы) и электроизоляционные (природные или синтетические полимеры, неорганические изоляционные материалы).

В Результате проведенных исследований было определено, что электроизоляционные материалы, особенно природные и синтетические, наиболее подвержены радиационным повреждениям, чем токопроводящие. Поэтому работоспособность кабелей и проводов в условия воздействия ядерных излучений определяется, в основном, свойствами примененных в них электроизоляционных материалов.

Радиационные эффекты в материалах определяются не только поглощенной дозой излучения и мощностью дозы, но и целым рядом факторов, характеризующих условия облучения. Степень воздействия излучений и сам характер воздействия могут в значительной степени зависеть от небольших количественных и качественных особенностей химического состава материала, при этом температурные зависимости некоторых свойств в результате облучения могут полностью измениться.

Воздействие ядерных излучений, с учетом специфических сопутствующих факторов, приводит к столь существенным изменениям свойств веществ, что эти изменения приобретают заметное значение, даже чисто в технических применениях.

Первопричиной изменения свойств вещества при взаимодействии с излучением высокой энергии является нарушение структуры (появление дефектов кристаллической решетки металлов) и изменение химического строения (разрыв одних и образование других связей) [11].

1.7 Действие излучений на органические электроизоляционные материалы

Первичное действие излучения на органические материалы (в первую очередь полимеры) сводится к ионизации и возбуждению атомов и молекул, образующих данный материал, причем оба эти процесса могут приводить к диссоциации молекул и разрыву химических ковалентных связей с образованием свободных радикалов. Дальнейшие, вторичные процессы представляют собой реакции взаимодействия активированных фрагментов молекул друг с другом и с другими молекулами.

Радиационные изменения свойств полимера могут быть обратимыми и необратимыми, т.е. исчезать после прекращения облучения или сохраняться.

Обратимые радиационные эффекты в полимерах обычно обусловлены образованием и накоплением до стационарной концентрации более или менее короткоживущих продуктов - свободных и связанных зарядов, свободных радикалов, газов и др. Обратимые эффекты в первую очередь сводятся к появлению наведенной (радиационной) электропроводности.

Необратимые радиационные эффекты, в основе которых лежит фактически единственный процесс трансформации химических связей (разрыв одних, и образование других ковалентных связей) [7].

Глава 2. Основная часть

2.1 Исследуемый материал; Измерительная аппаратура и испытательное оборудование

2.1.1 Изготовление пластин из фторопласта-4 МБ К

Изначально фторопласт – 4 МБ К поставляется в виде гранул серого цвета, размерами 2–4 мм. Для проведения физико-механических испытаний, необходимо изготовить цельную пластину однородной консистенции, размерами 12х14 см и толщиной 1,5–2 мм, из гранул путем их расплавления и прессования. Определённую навеску гранул равномерно распределяют в центре пресс-формы (никелированная или хромированная сталь) глубиной $1 \pm 0,1$ мм и накрывают сверху крышкой из такого же материала. С целью исключения прилипания пластины к поверхности пресс-формы допускается прессование с прокладками из алюминиевой фольги. Пресс-форму с навеской полимера помещают на плиту пресса с электрообогревом, нагретую примерно до 315 °С и выдерживают 25–30 минут. После этого дают давление 150 кгс/см² и плавление гранул происходит уже под давлением в течение 2 минут. После окончания процесса плавления и прессования давление сбрасывается, и происходит охлаждение путем теплоотвода циркулирующей водой внутри плиты гидравлического пресса.

2.1.2 Облучение пластин

Облучение пластин было произведено на базе мощного изотопного источника непрерывного гамма-излучения ГУ-200.

Гамма-установка ГУ-200 (Рисунок 1) используется для исследования радиационной стойкости РЭА, ЭРИ и конструкционных материалов к воздействию поглощенной дозы гамма - излучения.

Характеристики ГУ-200:

- Изотоп излучателя Co^{60} ;
- Активность источников $5,6 \cdot 10^{15}$ Бк;
- Средняя энергия гамма – квантов 1,25 Мэв;

- Зона облучения: объём 70 м^3 , площадь 16 м^2 .



Рисунок 1 – Гамма-установка ГУ-200

Для исследований данной работы пластины были облучены до следующих доз:

- $3 \cdot 10^5 \text{ Рад} = 3 \cdot 10^3 \text{ Гр}$;
- $10^6 \text{ Рад} = 10^4 \text{ Гр}$;
- $3 \cdot 10^6 \text{ Рад} = 3 \cdot 10^4 \text{ Гр}$;
- $10^7 \text{ Рад} = 10^5 \text{ Гр}$;
- $3 \cdot 10^7 \text{ Рад} = 3 \cdot 10^5 \text{ Гр}$;
- $5 \cdot 10^7 \text{ Рад} = 5 \cdot 10^5 \text{ Гр}$.

2.2 Испытание на разрыв при растяжении

2.2.1 Изготовление и подготовка образцов для испытаний на растяжение при разрыве

После того как образец остыл, его извлекают из пресс-формы и далее с помощью штанцевого ножа изготавливают «лопатки» (Рисунок 2) стандартизованного типа, используемые для проведения испытаний. В среднем из одной пластины вырубается 5 образцов. Использовался нож для вырубki лопатки типа 1 по ГОСТ 11262–80 [14].

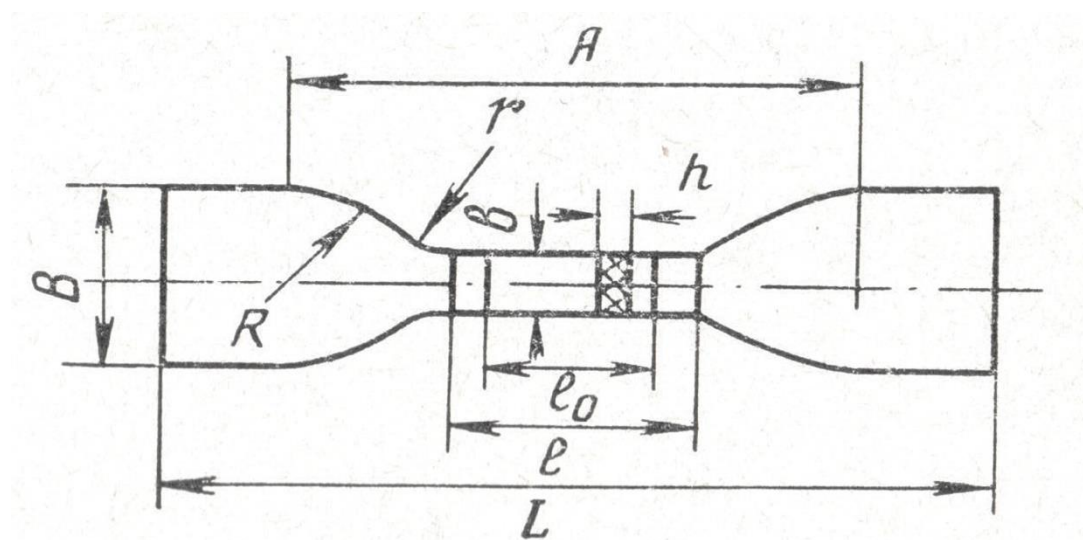


Рисунок 2 – Образец для испытаний полимеров на растяжение

Таблица 1 – Размеры образца (лопатки)

Параметры	Значение параметра, мм
Общая длина, L , не менее	115
Ширина головки, B	25 ± 1
Длина рабочей части, l	33 ± 1
Ширина рабочей части, b	$6 \pm 0,4$
Радиусы закругления	
r	$14 \pm 0,5$
R	25 ± 1

Продолжение таблицы 1

Расстояние между метками А, определяющими положение кромок захвата на образце	80 ± 5
Толщина рабочей части, h	Менее 3
Расчётная длина, l_0	25 ± 1

После того как образцы подготовлены, проводятся испытания.

2.2.2 Измерительная аппаратура и испытательное оборудование

Испытания проводят на разрывной машине (рисунок 3), с ценой деления 200 грамм и при температуре $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, при постоянном нарастании нагрузки до разрыва образца, со скоростью движения подвижного захвата (100 ± 10) мм/мин [15].

За результат принимают среднее арифметическое пяти определений.

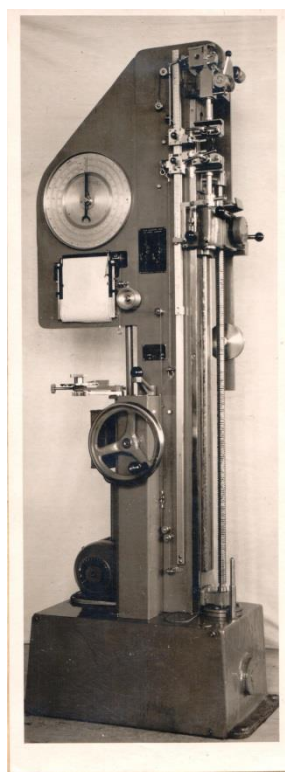


Рисунок 3 – Разрывная машина

Характеристики машины разрывной испытательной типа РМИ-250:

- Рабочий диапазон измерения нагрузки по шкалам 0–50 кгс;
- Цена деления 100 г;
- Погрешность показаний нагрузок в пределах рабочего диапазона измерений $\pm 1 \%$;
- Скорость движения нижнего зажима в пределах 50–170 мм/мин;
- Отклонение скорости движения нижнего зажима $\pm 5 \%$;
- Максимальное расстояние между зажимами–1000 мм;
- Предел измерения по шкале ручного замера удлинения – 1600 %.

2.3 Нахождение тангенса диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости

2.3.1 Изготовление и подготовка образцов для определения тангенса угла диэлектрических потерь

Для проведения испытания образцы вырубаются из заранее подготовленной пластины штанцевым ножом круглой формы, диаметром $(50 \pm 0,5)$ мм (Рисунок 4) [16].

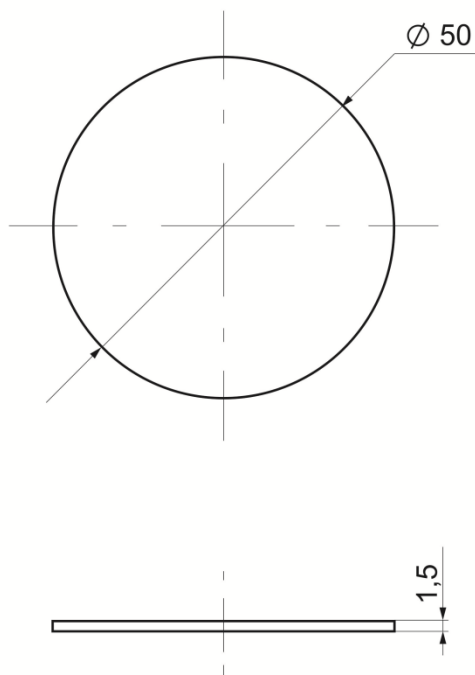


Рисунок 4 – Образец для определения тангенса угла диэлектрических потерь

2.3.2 Измерительная аппаратура и испытательное оборудование

Измерения проводят с помощью ячейки измерительной ИЯ-2Т (далее - ячейка) совместно с прецизионным измерителем LRC Agilent E4980A. Совокупность данных приборов предназначена для измерений относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь твёрдых диэлектриков толщиной от 0,5 до 2 мм в диапазоне частот от 50 Гц до 1 МГц.

Технические характеристики ячейки:

- Диапазон частот – от 50 Гц до 1 МГц;
- Размеры измеряемых образцов:
 - диаметр $50 \pm 0,1$ мм;
 - толщина от 0,5 до 2 мм;
- Диапазон измеряемых значений относительной диэлектрической проницаемости ϵ от 2 до 10;
- Диапазон измеряемых значений тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ от 10^{-4} до 10^{-2} ;
- Относительная погрешность измерения составляет $\pm 1 \%$ по ϵ и $\pm 25 \%$ по $\tan \delta$;
- Условия эксплуатации измерительной ячейки лабораторные;
- Габаритные размеры ячейки 110x120x180 мм;
- Масса ячейки не более 0,5 кг.

Описание и характеристики измерителя LRC Agilent E4980A:

Универсальный измеритель LRC Agilent E4980A предназначен для входного контроля компонентов, контроля качества и для лабораторного применения. Прибор применяется для оценки параметров LRC компонентов, материалов и полупроводниковых приборов в широком диапазоне (20Гц-20МГц).

Прибор Agilent E4980A позволяет выполнять измерения ёмкости C и тангенса угла диэлектрических потерь D с основной погрешностью $\pm 0,05 \%$ (C) и $\pm 0,0005 \%$ (D) на всех частотах.

Диэлектрическими потерями - называют электрическую мощность, затрачиваемую на нагрев диэлектрика, находящегося в электрическом поле.

Углом диэлектрических потерь δ называют угол, дополняющий до 90° угол сдвига фаз ϕ между током и напряжением в емкостной цепи.

В случае идеального диэлектрика вектор тока в такой цепи опережает вектор напряжения на угол 90° , при этом угол δ равен нулю. Чем больше

рассеивается в диэлектрике мощность, тем меньше угол сдвига фаз φ и тем больше угол диэлектрических потерь и значение $\operatorname{tg} \delta$.

Материалы, предназначенные для применения в указанных условиях, должны отличаться малыми значениями угла потерь и диэлектрической проницаемости, так как в противном случае мощность, рассеиваемая в диэлектрике, может достигнуть недопустимо больших значений.

Большие диэлектрические потери в электроизоляционном материале вызывают сильный нагрев изготовленного из него изделия и могут привести к его тепловому разрушению.

Диэлектрическая проницаемость среды ε - безразмерная физическая величина, характеризующая свойства изолирующей (диэлектрической) среды.

Если в электрическое поле поместить непроводник (диэлектрик), то часть электрического смещения будет обусловлена поляризацией диэлектрика. Напряженность электрического поля уменьшится от величины E_0 до E (электрическое смещение D остается неизменным).

$$\varepsilon = \frac{\overrightarrow{E_0}}{\overrightarrow{E}} \quad (4)$$

Испытания проводят при частоте 10^6 Гц, на трёх образцах при помощи приборов, позволяющих измерять $\operatorname{tg} \delta$ с погрешностью $\pm 0,05$. За результат измерения принимают среднее арифметическое трех измерений.

Диэлектрические характеристики полимеров (диэлектрическая проницаемость ε , тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$) имеют большое значение. В частности, от них зависит способность материалов к быстрому нагреву в переменном электрическом поле высокой частоты. Эти характеристики определяются строением полимера и зависят от частоты и напряженности переменного электрического поля и температуры материала.

Тангенс угла диэлектрических потерь различных полимеров изменяется от 10^{-1} (фенопласты) до 10^{-4} (фторопласт-4, полиэтилен). Диэлектрическая проницаемость зависит от полярности полимера. Этот показатель изменяется от 1,9 у неполярных полимеров (фторопласт-4), до 8,0 у полярных (полиуретан).

Изменяя состав полимерной композиции, удастся создавать материалы с заданными диэлектрическими свойствами.

В кабельных изделиях, как известно, имеется два основных компонента - это токопроводящие металлические элементы (жила и экран) и диэлектрическая изоляция. Среди множества видов изоляционных материалов во второй половине 20 века преобладающую роль заняли полимерные материалы. Они почти полностью вытеснили многие традиционные изоляционные материалы - бумагу, различные нити и резину. Преимущество полимерных материалов в их технологичности и в превосходных механических и электрических свойствах. К числу последних свойств следует отнести удельное объемное электрическое сопротивление, электрическую прочность, диэлектрическую проницаемость и диэлектрические потери.

Диэлектрическая проницаемость вещества ϵ характеризует его поляризуемость во внешнем электрическом поле. При этом, если вещество не содержит постоянных дипольных моментов (полярных молекул), то во внешнем поле возникает деформационный дипольный момент, связанный со смещением положительных и отрицательных зарядов. По этому признаку диэлектрики делятся на полярные и неполярные. Из распространенных полимерных изоляционных материалов к первым относятся ПВХ-пластикаты, к неполярным - полиэтилен, политетрафторэтилен.

Диэлектрические потери связаны с рассеиванием энергии электромагнитного поля в диэлектрике. В идеале при подаче переменного напряжения на конденсатор вектор тока опережает вектор напряжения на 90° , но из-за потерь энергии в диэлектрике угол между ними будет на величину δ меньше. Угол δ называется углом диэлектрических потерь. На практике пользуются не величиной угла, а тангенсом этого угла, который называется тангенсом угла диэлектрических потерь ($\tan \delta$).

Характеристики ϵ и $\tan \delta$ играют решающую роль в электрических свойствах радиочастотных кабелей. Для них главными характеристиками являются волновое сопротивление Z и коэффициент затухания α . Волновое

сопротивление связано с диэлектрической проницаемостью известной зависимостью:

$$Z=60 \cdot \ln (D/d) \cdot \sqrt{\epsilon}, \quad (5)$$

где D – внутренний диаметр внешнего проводника,

d - внешний диаметр внутреннего проводника.

Коэффициент затухания кабеля обусловлен потерями в металле и потерями в изоляции. Последние на высоких частотах определяются формулой:

$$\alpha_d = 29\pi f \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{\epsilon} \quad (6)$$

где f - частота, Гц.

Таким образом, знание величин ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ для изоляционных материалов является необходимым условием при конструировании радиочастотных кабелей. Эти величины являются предметом входного контроля материалов при производстве радиочастотных кабелей. Поэтому измерению ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ в кабельной технике всегда уделялось большое внимание [17].

2.4 Испытание образцов на дифференциальном сканирующем микрокалориметре

2.4.1 Изготовление и подготовка образцов для дифференциальной сканирующей калориметрии

От заранее изготовленной пластины, отсекается образец весом ~ 20 мг. После взвешивания на аналитических весах образец помещается в контейнер (Рисунок 6), накрывается крышкой и запечатывается.

2.4.2 Измерительная аппаратура и испытательное оборудование

После проделанной подготовки, контейнер помещается в рабочую калориметрическую ячейку, которая в свою очередь накрывается колпаком и протягивается для максимальной герметичности.

Исследование проводится на дифференциальном сканирующем микрокалориметре ДСМ-2М (Рисунок 5).

Дифференциальный сканирующий микрокалориметр – предназначен для измерения термодинамических характеристик (энтальпии, теплоёмкости, температур фазовых переходов) исследуемых образцов в диапазоне температур от минус $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ до плюс $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Технические характеристики дифференциального сканирующего микрокалориметра ДСМ–2М:

- Рассчитан на работу в лабораторных условиях;
- Температура окружающего воздуха $24\pm 5^{\circ}\text{C}$;
- Относительная влажность $65\pm 15\%$;
- Отклонение базовой линии от начального нулевого положения менее $0,5 \cdot 10^{-2}$ Вт;
- Сходимость результатов при измерении теплоёмкости $0,4\%$;
- Основная погрешность измерения температуры калориметрических камер $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Габаритные размеры прибора $745 \times 230 \times 320$ мм;
- Вес прибора 30 кг.

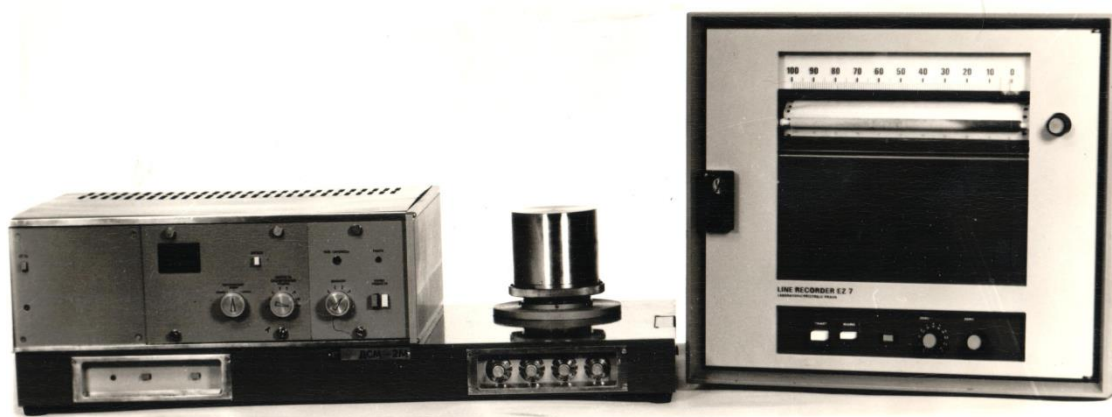


Рисунок 5 – Дифференциальный сканирующий калориметр ДСМ-2М



Рисунок 6 – Контейнер для образца установки ДСМ-2М

2.5 Методика обработки данных и погрешности

2.5.1 Испытание на разрыв при растяжении

Испытание проводят на машине, которая при растяжении образца должна обеспечивать измерение нагрузки с погрешностью не более 1% от измеряемой величины и постоянную скорость движения одного из зажимов в пределах, требуемых настоящим стандартом.

Зажимы машины должны обеспечивать надежное крепление образцов и совпадение продольной оси образца с направлением растяжения и не должны вызывать разрушений образцов в месте крепления.

Прибор для измерения удлинения в процессе испытания должен иметь погрешность измерения не более 1%, если в нормативно-технической документации на материал нет иных указаний.

Для измерения удлинения допускается использовать:

- приборы, закрепляемые непосредственно на образце; при этом масса прибора и способ его крепления не должны оказывать существенного влияния на величины определяемых показателей и поведение образца при испытании;
- приборы, не закрепляемые на образце и позволяющие производить измерение изменения расчетной длины образца, ограниченной метками, с помощью оптических или других систем измерения.

При удлинении свыше 25 мм допускается измерение удлинения по меткам с помощью масштабной линейки с ценой деления не более 1 мм.

При измерении толщины образцов прибор должен оказывать давление на образец до 0,03 МПа (0,3 кгс/см²).

Прибор для измерения ширины и толщины образцов должен обеспечивать измерение с погрешностью не более 0,01 мм.

2.5.2 Сущность метода

Метод основан на растяжении образца с установленной скоростью деформирования, при котором определяют такие показатели как:

- Удлинение;
- кривую «нагрузка-удлинение»;
- прочность при растяжении;
- прочность при разрыве;
- предел текучести при растяжении;
- относительное удлинение при разрыве;
- относительное удлинение при максимальной нагрузке.

Механические испытания на растяжение определяются в соответствии с ГОСТ 11262-80.

2.5.3 Выполнение измерений

При выполнении испытаний выполняются следующие действия:

- Перед началом испытания на образец наносятся метки, для измерения удлинения
- Заранее подготовленный образец (лопатка), закрепляется в зажимы растягивающего механизма;
- Испытания проводят при температуре (296 ± 2) К (23 ± 2) °С и относительной влажности (50 ± 5) %, если в нормативно-технической документации на материал нет других указаний;
- Испытания проводят при скорости раздвижения зажимов испытательной машины, предусмотренной в нормативно-технической документации на материал;
- Далее включается двигатель привода растягивающего механизма, и образец начинает растягиваться с монотонной скоростью;
- На каждую из меток устанавливается «усики», следующие за метками в процессе растяжения, для измерения растяжения образца в момент разрыва.

– После разрыва образца, снимаются значения максимальной нагрузки при разрыве, а также удлинение в момент разрыва.

Зависимость напряжения σ от относительного удлинения ϵ является одной из важнейших характеристик механических свойств твердых тел.

Графическое изображение этой зависимости называется диаграммой растяжения (Рисунок 7). По оси ординат откладывается механическое напряжение σ , по оси абсцисс — относительное удлинение ϵ .

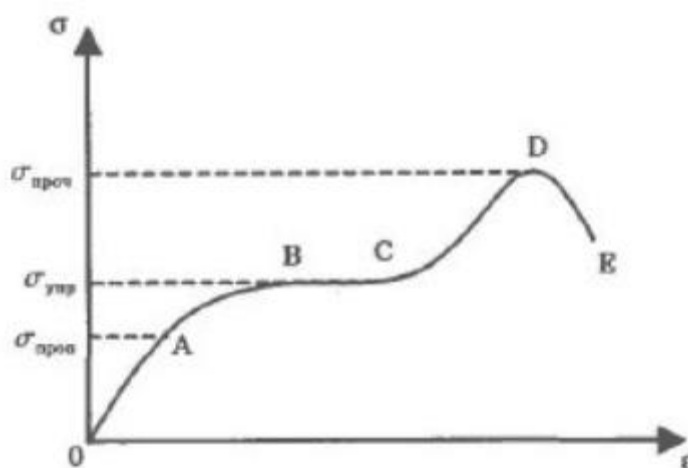


Рисунок 7 – Зависимость напряжения от относительного удлинения

Участок 0А - область пропорциональности: на этом участке выполняется закон Гука. Точке А соответствует напряжение $\sigma_{\text{проп.}}$, называемое пределом пропорциональности.

Предел пропорциональности $\sigma_{\text{проп.}}$ — максимальное напряжение, при котором закон Гука еще выполняется.

Предел упругости $\sigma_{\text{упр.}}$ — напряжение, при котором тело полностью утрачивает упругость (участок АВ).

На участке ВС наблюдается явление «текучести» материала: удлинение тела нарастает при незначительном росте деформирующей силы.

При дальнейшем увеличении удлинения тело вновь обретает способность сопротивляться деформации; напряжение в нем вновь увеличивается, достигая максимума в точке D, которой соответствует начало разрушения.

Предел прочности $\sigma_{\text{проч.}}$ - наибольшее напряжение, возникающее в теле перед началом разрушения. Участку DE соответствует постепенное разрушение тела.

Все детали машин и механизмов изготавливаются со значительным, но разумным запасом прочности.

Значения прочности (σ) в МПа (Н/мм²) вычисляют по формулам:

- прочность при растяжении ($\sigma_{\text{рм}}$)

$$\sigma_{\text{рм}} = \frac{F_{\text{рм}}}{A_0} \quad (7)$$

- прочность при разрыве ($\sigma_{\text{рр}}$)

$$\sigma_{\text{рр}} = \frac{F_{\text{рр}}}{A_0} \quad (8)$$

где $F_{\text{рм}}$ — максимальная нагрузка при испытании на растяжение, Н;

$F_{\text{рр}}$ — нагрузка, при которой образец разрушился, Н;

A_0 — начальное поперечное сечение образца, мм².

За результат испытания принимают среднее арифметическое не менее пяти определений, вычисляемое до третьей значащей цифры.

- Удлинение (ϵ) в процентах вычисляют по формулам: относительное удлинение при максимальной нагрузке ($\epsilon_{\text{рм}}$):

$$\epsilon_{\text{рм}} = \frac{\Delta l_{\text{ом}}}{l_0} \quad (9)$$

- относительное удлинение при разрыве ($\epsilon_{\text{рр}}$):

$$\epsilon_{\text{рр}} = \frac{\Delta l_{\text{ор}}}{l_0} \quad (10)$$

где $\Delta l_{\text{ом}}$ - изменение расчетной длины образца в момент достижения максимальной нагрузки, мм;

$\Delta l_{\text{ор}}$ - изменение расчетной длины образца в момент разрыва, мм;

2.5.4 Контроль точности результатов измерений

Точность результатов измерения считают удовлетворительной, если результаты измерений стандартных образцов находятся в пределах погрешности измерений.

При неудовлетворительных результатах контроля выявляют причины потери точности измерений и проводят соответствующие организационно-технические мероприятия, обеспечивающие получение результатов измерений с заданной в рекомендации погрешностью.

2.6 Нахождение тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости

Предел допускаемой относительной погрешности измерений по данной рекомендации составляет $\pm 1 \%$ для ϵ и $\pm 25 \%$ для $\operatorname{tg} \delta$.

При выполнении измерений температура окружающего воздуха, относительная влажность, барометрическое давление, вибрации в помещении должны соответствовать нормам, установленным в эксплуатационной документации на применяемые средства измерений.

- Изменение температуры окружающего воздуха за время измерений одного образца не должно превышать 1°C ;
- Для измерений применяют образец твёрдого диэлектрика в форме диска;
- Требования к форме образца и шероховатости его поверхностей следующие:
 - диаметр образца, $50 \pm 0,1$ мм;
 - толщина образца, от 0,5 до 2 мм;
 - отклонения от параллельности и плоскостности торцевых поверхностей образца по ГОСТ 24643, не более 0,02 мм;
 - отклонение от перпендикулярности оси боковой поверхности образца к торцевым поверхностям по ГОСТ 24643, не более 0,02 мм;
 - шероховатость торцевых поверхностей образца по ГОСТ 2789, параметр R_a , не более 0,2 мкм;
- Нормализация и кондиционирование образцов для измерений - по ГОСТ 6433.1;

– Перед измерениями поверхности образца протирают мягкой белой бязью, смоченной этиловым спиртом-ректификатом, и высушивают естественным путем.

2.6.1 Сущность метода

Определение относительной диэлектрической проницаемости ϵ основано на измерении ёмкости измерительной ячейки, при помещении в неё образца диэлектрика с фиксированным воздушным зазором над образцом C_1 , и ёмкости ячейки без образца, при восстановленном расстоянии между электродами C_2 .

Достоинством метода является минимизация погрешности измерения ϵ за счёт исключения влияния воздушного зазора между образцом диэлектрика и электродом ячейки при его непосредственном контакте с образцом.

2.6.2 Выполнение измерений

При выполнении измерений ϵ на частоте 1 МГц бесконтактным методом выполняют следующие операции:

- разводят электроды и в межэлектродное пространство помещают образец толщиной t и диаметром D_2 ;
- сводят электроды, делая не менее одного полного оборота маховика ячейки;
- снимают значение толщины образца t по индикатору, установленному на ячейке;
- разводя электроды, по индикатору устанавливают воздушный зазор между образцом диэлектрика и электродом ячейки $\Delta=0,2\div0,4$ мм, при этом межэлектродное расстояние h составит ($h=t+\Delta$), мм;
- измеряют ёмкость ячейки с образцом C_1 ;
- разводят электроды и извлекают образец;
- восстанавливают расстояние между электродами и измеряют ёмкость ячейки без образца C_2 ,

– диэлектрическую проницаемость ε исследуемого образца вычисляют по формуле

$$\varepsilon = \frac{C_8}{C_4}, \quad (11)$$

где C_4 – ёмкость образца (геометрическая), пФ, определяемая по формуле:

$$C_4 = 0,006954 \cdot \frac{D_2^2}{t} \quad (12)$$

C_8 – ёмкость образца, пФ, определяемая по формуле:

$$C_8 = C_6 \cdot \frac{C_7 + C_3 - C_5}{C_5 + C_6 - C_3 - C_7}, \quad (13)$$

C_3 – ёмкость ячейки (геометрическая), пФ, определяемая по формуле

$$C_3 = 0,006954 \cdot \frac{D_1^2}{h} \quad (14)$$

C_5 – ёмкость пустой части ячейки, пФ, определяемая по формуле

$$C_5 = 0,006954 \cdot \frac{D_1^2 - D_2^2}{h}, \quad (15)$$

C_6 – ёмкость зазора, пФ, определяемая по формуле

$$C_6 = 0,006954 \cdot \frac{D_2^2}{h - t}, \quad (16)$$

C_7 – изменение ёмкости, пФ, определяемое по формуле

$$C_7 = C_1 - C_2. \quad (17)$$

Результаты измерений могут быть получены на компьютере по программе «Епсилон - 2011», разработанной для данной методики. Программа работает в среде «Windows» и использует пакет «Mathcad».

2.7 Контактный метод измерения $\operatorname{tg} \delta$ с сохранением межэлектродной ёмкости ячейки

2.7.1 Сущность метода

Определение тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ основано на измерениях тангенса угла диэлектрических потерь ячейки с исследуемым

образцом диэлектрика $\operatorname{tg} \delta_1$ и сравнения ее с добротностью ячейки без образца $\operatorname{tg} \delta_2$ на частоте измерения

2.7.2 Выполнение измерений

При выполнении измерений $\operatorname{tg} \delta$ на частоте 1 МГц контактным методом выполняют следующие операции:

- разводят электроды и в межэлектродное пространство помещают образец;
- сводят электроды, делая не менее одного полного оборота маховичка ячейки;
- снимают значение толщины образца t по индикатору, установленному на ячейке;
- измеряют ёмкость C_1 и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta_1$ ячейки с образцом;
- разводят электроды и извлекают образец;
- восстанавливают ёмкость перемещением подвижного электрода ячейки, измеряют тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta_2$;
- тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ исследуемого образца вычисляют по формуле:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{C_1}{C_1 - C_2} \cdot (\operatorname{tg} \delta_1 - \operatorname{tg} \delta_2), \quad (18)$$

где C_1 – ёмкость ячейки с образцом;

C_2 – ёмкость пустой части ячейки, пФ, определяемая по формуле

$$C_2 = 0,006954 \frac{D_1^2 - D_2^2}{t}, \quad (19)$$

Результаты измерений могут быть получены на компьютере по программе «Эпсилон-2011-Т», разработанной для данной методики. Программа работает в среде «Windows» и использует пакет «Mathcad».

2.7.3 Контроль точности результатов измерений

Основной целью контроля точности результатов измерений является проверка правильности выполнения операций и соблюдения правил измерений, установленных настоящей рекомендацией, а также проверка соответствия результатов измерений требованиям технических условий для фторопласта – 4.

Контроль точности результатов измерений ведут при периодическом и внеочередном (оперативном) контроле.

Периодический и внеочередной (оперативный) контроль проводят путем измерений диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь стандартных образцов, разработанных и утверждённых в соответствии с требованиями ГОСТ 8.315.

Периодический контроль при постоянной работе измерительной установки проводят один раз в год.

Внеочередной (оперативный) контроль проводят при сборке - разборке измерительной установки, замены в ней измерительной аппаратуры и элементов.

Результатами контроля точности являются выводы о правильности:

- применения средств измерений и вспомогательного оборудования;
- соблюдения условий измерений;
- выполнения операций при подготовке измерений;
- обработки результатов измерений и их оформления.

Результаты контроля считают удовлетворительными, если результаты измерений стандартных образцов находятся в пределах погрешности измерений.

При неудовлетворительных результатах контроля выявляют причины потери точности измерений и проводят соответствующие организационно-технические мероприятия, обеспечивающие получение результатов измерений с заданной в рекомендации погрешностью.

2.8 Дифференциальная сканирующая калориметрия

2.8.1 Сущность метода

Сущность метода дифференциальной сканирующей калориметрии основана на измерениях термодинамических характеристик (энтальпии, теплоёмкости) исследуемых образцов в диапазоне температур от минус 150 °С до плюс 500 °С.

Метод дифференциальной сканирующей калориметрии основан на непосредственном измерении и регистрации поглощаемого или выделяемого теплового потока исследуемым образцом в процессе его нагрева или охлаждения, а также в изотермическом режиме.

В калориметре технически предусмотрены две камеры, эталонная и рабочая. При наличии тепловыделения (теплопоглощения) в исследуемом образце температурный баланс камер нарушается, при этом появляется разбаланс измерительного моста. Этот сигнал усиливается усилителем и передаётся на нагревательный элемент рабочей калориметрической камеры. За счёт сложений тока компенсации с опорным током постоянной величины, ток компенсации прямо пропорционален мощности теплового процесса. Это позволяет осуществить запись мощности измеряемого процесса, путём регистрации электрического сигнала на самописце.

2.8.2 Выполнение измерений

- При выполнении измерений на дифференциальном сканирующем калориметре выполняют следующие операции:
- Перед началом работы необходимо убедиться, что на индикаторе температуры стоит значение 20 °С;
- Приборы, входящие в установку, прогреваются в течении 30 минут;
- Производится коррекция наклона базовой линии для исключения большой погрешности показаний прибора;
- В рабочую камеру помещается контейнер с образцом, после чего калориметрический блок закрывается термостатирующим колпаком;

- Выбирается скорость сканирования в диапазоне от 8 до 64, град/сек;
- Выбирается режим «нагрев» и включается самописец;
- При достижении температуры плавления, самописец регистрирует «пик» плавления

- Далее определяется площадь пика плавления;
- После регистрации пика, самописец отключается, а установка переключается в режим охлаждения, при скорости 64 град/мин до 20 °С.

Максимальную расчетную массу навески исследуемого образца определяют по формуле [г]:

$$M_{\text{обр}}^{\text{макс}} = \frac{C_{p \text{ эт}}}{C_{p \text{ обр}}}, \quad (20)$$

Где: $M_{\text{эт}}^{\text{макс}}$ – масса навески образцовой меры;

$C_{p \text{ эт}}$ – удельная теплоёмкость образцовой меры при интересующей температуре;

$C_{p \text{ обр}}$ – удельная теплоёмкость образца;

Удельное изменение энтальпии перехода образца рассчитывается по формуле [Дж/г]:

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\text{уд}} = \frac{\Delta H_{\text{эт}}^{\text{уд}} \cdot M_{\text{эт}} \cdot N^{\text{обр}}}{N^{\text{эт}} \cdot M_{\text{обр}}}, \quad (21)$$

Где H – удельная энтальпия образца;

$N^{\text{обр}}$ – среднее значение интеграла изменения энтальпии, рассчитываемый по формуле:

$$N^{\text{эт}} = \frac{N_1^{\text{эт}} + N_2^{\text{эт}}}{2}, \quad (22)$$

Удельная теплоёмкость образца определяется [Дж/г·град]:

$$C_{p \text{ обр}} = \frac{A^{\text{обр}} \cdot M_{\text{эт}} \cdot C_{p \text{ эт}}}{A^{\text{эт}} \cdot M_{\text{обр}}}, \quad (23)$$

Где $C_{p \text{ эт}}$ – удельная теплоёмкость образцовой меры;

$M_{\text{эт}}$ – масса навески образцовой меры;

$M_{\text{обр}}$ – масса навески исследуемого образца;

A – амплитуда отклонения базовой линии.

2.8.3 Контроль точности результатов измерений

Результаты контроля считают удовлетворительными, если результаты измерений стандартных образцов находятся в пределах погрешности измерений.

При неудовлетворительных результатах контроля выявляют причины потери точности измерений и проводят соответствующие организационно-технические мероприятия, обеспечивающие получение результатов измерений с заданной в рекомендации погрешностью.

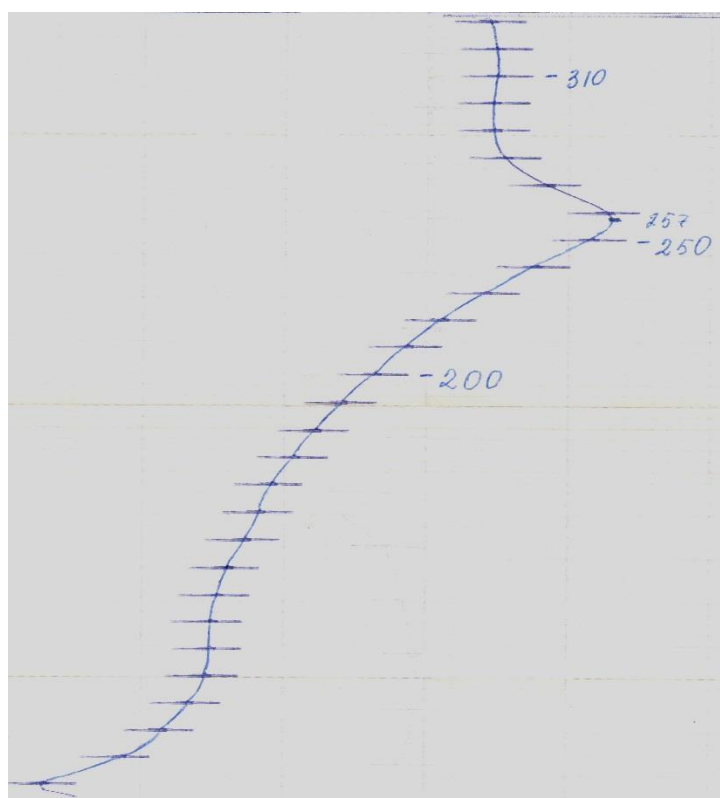


Рисунок 8 – Графическое изображение пика плавления

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной диссертационной работе проведена серия экспериментов по определению физико-механических характеристик материала фторопласт–4 МБ К в зависимости от дозы облучения.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является изучение материала для изоляции кабелей и проводов фторопласт – 4 МБ К, и возможность использования данного материала в атомной промышленности и зонах, генерирующих ионизирующее излучение. Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по атомной энергетике, атомная и смежные отрасли научной промышленности, кабельная промышленность, космическая отрасль.

Сегментировать рынок услуг по мере необходимости исследования новых материалов для использования в зонах, генерирующих ионизирующее излучения можно по степени потребности использования полученных данных. Результаты сегментирования представлены в рисунке 2.1.

		Оптимизация процесса определения изотопного состава урансодержащих образцов при использовании кода MGAU			
		Атомная промышленность	Кабельная отрасль	Космическая отрасль	Научная отрасль
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 18 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию полученных данных исследования новых материалов

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Как уже упоминалось выше, в данной работе был исследован материал изоляции кабелей и проводов фторопласт–4 МБ. Таким образом, для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть виды материалов оболочки кабелей и проводов, часто используемых на практике:

- изменение физико-механических характеристик;

Оценочная карта анализа представлена в таблице 29. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 29 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Энергоэкономичность	0,03	5	3	3	0,15	0,09	0,09
4. Надежность	0,03	5	4	4	0,15	0,09	0,09
5. Безопасность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
6. Потребность в материальных ресурсах	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
7. Функциональная мощность	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12
8. Помехоустойчивость	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
9. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,3	5	4	4	1,5	0,12	0,12
Итого	1				4,91	3,04	2,66

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что исследованный в данной диссертационной работе материал является наиболее оптимальным для использования в практических целях. Конкурентные разработки уступают данному материалу по некоторым пунктам оценочной карты, начиная от потребности в материальных ресурсах и заканчивая сложностью производства.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

В таблице 30 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 30 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	+	+	+	+
B3	–	+	+	+	+
B4	+	+	+	+	+
B5	+	+	+	+	+

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 31.

Таблица 31 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>C1. Актуальность выбранной темы.</p> <p>C2. Применение современного оборудования для исследования</p> <p>C3. Финансирование предприятия</p> <p>C4. Наличие достоверных результатов измерений.</p> <p>C5. Возможность внедрения данного материала</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Ограниченное количество аналогов-образцов для сравнения</p> <p>Сл2. Ограниченное количество измерений.</p> <p>Сл3. Изготовление образцов для исследования</p> <p>Сл4. Проблемы облучения образцов и длительность процесса</p> <p>Сл5. Изношенность оборудования необходимого для испытаний</p>
--	---	---

Продолжение таблицы 31

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование данных исследования для внедрения в кабельную промышленность</p> <p>В2. Разработка рекомендаций по местам прокладки в ядерной установке</p> <p>В3. Возможность создания новых условий для проведения эксперимента.</p> <p>В4. Поддержка развития атомной энергетики со стороны государства.</p> <p>В5. Дополнительный спрос на результаты исследования.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>1. Полное обеспечение условий проведения экспериментов.</p> <p>2. Появление дополнительного спроса и финансирования, обеспеченных актуальностью тематики и возможность использования данного материала.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>1. Сроки подготовки образцов и облучение для исследования. 2. Вопросы связанные с коммерческой тайной предприятия.</p> <p>3. Проблема ограниченного количества исследуемых материалов и ограниченного количества времени измерений решается при помощи возможной поддержки со стороны предприятия.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Радиационное старение материала под действием ИИ.</p> <p>У2. Вероятность разработки более новых материалов с характеристиками выше данного.</p> <p>У3. Задержка финансирования экспериментов.</p> <p>У4. Низкий спрос на результаты исследования или его отсутствие.</p> <p>У5. Разработка и усовершенствование данного материала другими предприятиями.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>1. Задержка финансирования подготовки образцов и возможность разработки данного материала другими предприятиями, может стать причиной неактуальности данной работы.</p> <p>Заблаговременная подготовка образцов может решить данную проблему.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>1. Проведение подобных исследований другими организациями, развитие новейших материалов, ограниченное количество измерений, – всё это представляет собой наиболее уязвимые места разработки. Однако рассмотренные возможности проекта могут снизить влияние перечисленных выше недостатков.</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества рассмотренного материала значительно преобладают над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

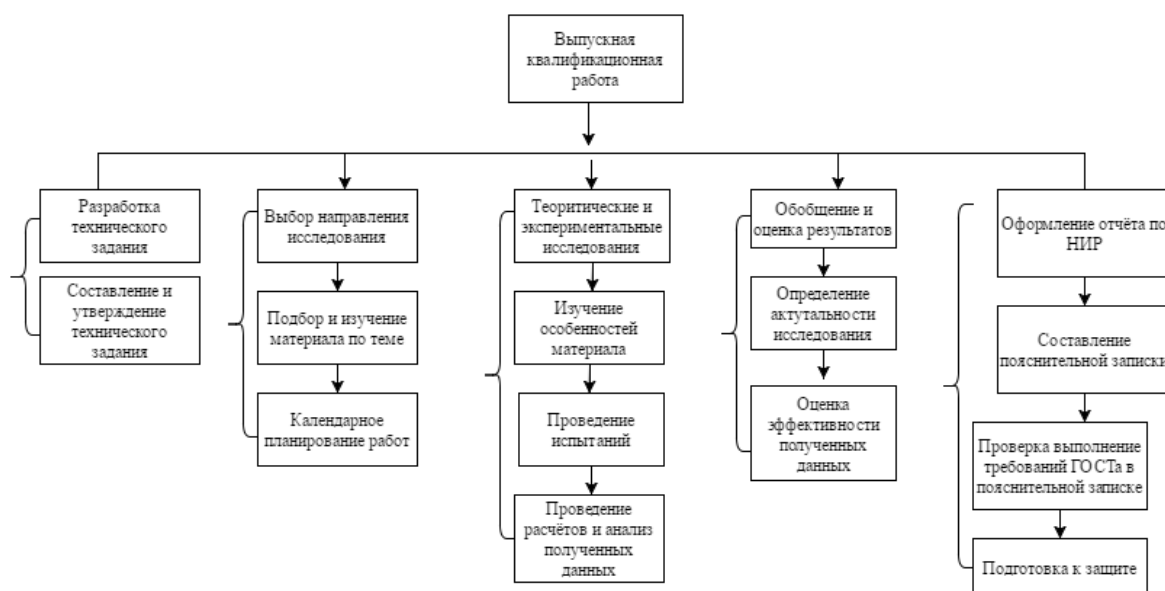


Рисунок 20 – Иерархическая структура работ

4.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 32.

Таблица 32 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	1.02.2016	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	3.02.2016	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	5.02.2016	

Продолжение таблицы 32

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
4	Подбор и изучение материалов по теме	10.02.2016	Отчёт
5	Календарное планирование работ	12.02.2016	План работ
6	Изучение особенностей материала фторопласт – 4 МБ К	13.02.2016	Отчёт
7	Проведение экспериментов	15.02.2016- 30.03.2016	Отчёт
8	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	28.03.2016	Отчёт
9	Обобщение и оценка результатов	30.03.2016	Отчёт
10	Составление пояснительной записки	14.02.2016- 25.04.2016	Пояснительная записка
11	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	26.04.2016	
12	Подготовка к защите	27.04.2016- 25.05.2016	

4.2.3 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в таблице 33.

Таблица 33 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2016	3.02.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2016	5.02.2016	Руководитель

Продолжение таблицы 33

3	Выбор направления исследований	5	5.02.2016	10.02.2016	Руководитель, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	10.02.2016	12.02.2016	Студент
5	Календарное планирование работ	1	12.02.2016	13.02.2016	Руководитель, студент
6	Изучение особенностей материала фторопласт – 4 МБ К	1	13.02.2016	14.02.2016	Студент
7	Проведение экспериментов	45	15.02.2016	30.03.2016	Студент
8	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	2	28.03.2016	30.03.2016	Студент
9	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2016	30.03.2016	Руководитель, студент
10	Составление пояснительной записки	72	14.02.2016	25.04.2016	Студент
11	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2016	27.04.2016	Руководитель, студент
12	Подготовка к защите	29	27.04.2016	25.05.2016	Студент

В таблице 34 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 34 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Разработка технического задания	Руководитель	2														
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2														
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	5	 													
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	2														
5	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1		 												
6	Изучение особенностей материала фторопласт – 4 МБ К	Студент	1														
8	Проведение экспериментов	Студент	45														
9	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	Студент	2														
10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, студент	1						 								
11	Составление пояснительной записки	Студент	72														
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент	1									 					
13	Подготовка к защите	Студент	29														



Руководитель



Студент

4.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на подготовку и облучение материалов, а также электроэнергию. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 2.3.1.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = U_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 2,05 \cdot 0,5 \cdot 1496,5 = 1534,$$

где $U_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,05 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 1496,5 рубля.

Таблица 35 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электроэнергия	–	730 кВт·ч	2,05	1496,5
Изготовление образцов	Фторопласт 4	10 шт.	300	3000
Облучение образцов	Фторопласт 4	10 шт.	20000	200000
Ручка	Pilot BPS-GP	1	50	50
Печать на листе А4	–	110	1,5	165
Всего за материалы				3215
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье C_m				204711,5

4.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T,$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (2000000 / 19800) = 101,1 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 15 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 101,1 \cdot 15 = 1516,5 \text{ руб.}$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = (Z_m \cdot M) / F_d,$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 36 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени		Руководитель	Студент
Календарное число дней		365	365
Количество нерабочих дней:		52	52
– выходные дни;		14	14
– праздничные дни			
Потери рабочего времени:		48	24
– отпуск;		–	–
– невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени		251	223

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 5070 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$З_{\text{дн}} = (5070 \cdot 11,2) / 223 = 254,6 \text{ руб/день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$З_{\text{осн}} = 254,6 \cdot 45 = 11457 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.
- иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью старшего преподавателя. Оклад старшего преподавателя составляет 16752 рубля.

Надбавки к заработной плате составляют 10000 рублей (надбавки учёного совета), также районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 16752 \cdot 1,3 + 10000 = 31777,6 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (31777,6 \cdot 10,4) / 251 = 1316,68 \text{ руб / день.}$$

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 37.

Таблица 37 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Студент
Основная зарплата	31777,6	11457
Дополнительная зарплата	4766,64	1145,7
Зарплата исполнителя	36544,24	12602,7
Итого по статье $C_{зп}$	49146,94	

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 27,1 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (31777,6 + 4766,64) = 9903,48 \text{ руб.}$$

4.3.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $k_{\text{накл}} = 30 \%$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (31777,6 + 4766,64) = 10963,3 \text{ руб.}$$

4.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 38.

Таблица 38 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	3215
2. Затраты на специальное оборудование	204711,5
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	43234,6
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	49146,9
5. Отчисления во внебюджетные фонды	9903,5
6. Накладные расходы	10963,3
Бюджет затрат исследования	321174,8

4.4 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный

руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель). Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 21.

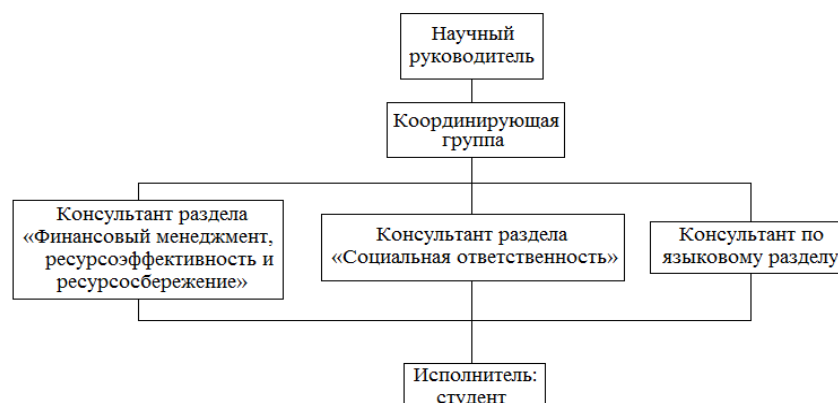


Рисунок 21 – Организационная структура научного проекта

4.5 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 39.

Таблица 39 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Выбор направления исследований	О				И
Подбор и изучение материалов по теме	С				И
Календарное планирование работ	О				И

Продолжение таблицы 39

Изучение особенностей материала фторопласт – 4 МБ К					И
Проведение экспериментов	О				И
Выполнение расчётов и анализ полученных данных	О				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 2.6). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{138080,9}{138080,9} = 1;$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{финал}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{145500,2}{138080,9} = 1,05; \quad I_{финал}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{161260,3}{138080,9} = 1,16;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже.

Таблица 40 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	5	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	4	3
3. Помехоустойчивость	0,2	5	3	3
4. Энергосбережение	0,3	5	4	4
5. Надёжность	0,1	5	4	4
6. Материалоёмкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	5	3,1	2,9

$$I_{тп} = 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 3,95;$$

$$\text{Аналог 2} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 3,7.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финаi}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p}; \quad I_{финаi}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{финаi}^{ai}};$$

В результате:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p} = \frac{5}{1} = 5; \quad I_{фина1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{фина1}^{a1}} = \frac{3,95}{1,05} = 3,76; \quad I_{фина2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{фина2}^{a2}} = \frac{3,7}{1,16} = 3,18.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}}$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 41.

Таблица 41 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,05	1,16	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,1	2,9	5
3	Интегральный показатель эффективности	3,76	3,18	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,69	2	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

Список публикаций студента

1. Н.М. Клюкин, Е.В. Кузнецов, В.К. Соболев, А.Ю. Бородай, П.В. Таракаенко «Оценка радиационной стойкости фторопласта по физико-механическим характеристикам» // VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», 1-3 июня 2016 г. Сборник тезисов. – Томск: НИ ТПУ, 2016. – С. 76
2. В.К. Соболев, С.В. Беденко, Н.М. Клюкин, Е.В. Кузнецов, А.Ю. Бородай «Моделирование ядерно-физических процессов в керамическом ояте» VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», 1-3 июня 2016 г. Сборник тезисов. – Томск: НИ ТПУ, 2016. – С. 55
3. А.Ю. Бородай, Н.М. Клюкин, Е.В. Кузнецов «Анализ использования борида вольфрама в качестве защитного материала для улучшения контейнеров для транспортировки РАО» VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», 1-3 июня 2016 г. Сборник тезисов. – Томск: НИ ТПУ, 2016. – С. 68
4. Е.В. Кузнецов, Н.М. Клюкин, В.К. Соболев, А.Ю. Бородай, С.В. Беденко «Исследование зависимости диэлектрических характеристик компаунда тесолоне от дозы облучения» VIII Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине», 1-3 июня 2016 г. Сборник тезисов. – Томск: НИ ТПУ, 2016. – С. 78
5. М. Н. Плевака, С. В. Беденко, В. В. Кнышев, Н. М. Клюкин, Е. Кузнецов «Нейтронно-физические исследования систем сухого хранения перспективных топливных композиций» // Современные проблемы физики и технологии: тезисы докладов IV Международной молодежной научной школы-конференции: в 2 т., Москва, 17-22 Марта 2015. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2015 - Т. 1 - С. 217-218
6. Бородай, А.Ю., Таракаенко П.В.; Кнышев, В.В., Беденко С. В.; Клюкин, Н. М.; Кузнецов, Е. В. «Использование СВЧ технологии для улучшения характеристик современных контейнеров для транспортировки и хранения РАО» // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами

молодежи: материалы III российской молодежной научной школы-конференции, г. Томск, 21-23 октября 2015 г. – Томск : СКАН, 2015. – с. 173-176.